

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Institut für Physikalische Chemie

Die Brennstoffzelle – Technologie der Zukunft?

Sommersemester 2005

Julia Hederer
Carolyn Eiersbrock

Übersicht

- Einleitung
- Geschichte der Brennstoffzelle
- Aufbau und Funktionsweise
 - Aufbau und Reaktion
 - Brennstoffzellenstacks
 - Überspannungen
- Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen
 - Wirkungsgrade
 - Emissionen
 - Kosten
- Zusammenfassung

Einleitung

➤ Warum Brennstoffzellen?

- globale Klimaveränderungen durch steigende Kohlendioxid-Emissionen und steigende Umweltbelastungen
- Energieerzeugung in D: ca. 75% durch Verbrennung fossiler Brennstoffe
- Suche nach emissionsarmen Verfahren mit hohen Wirkungsgraden
- Suche nach ressourcenschonenden Energiegewinnungsverfahren, z. B. Gewinnung von Wasserstoff durch Einsatz erneuerbarer Energien

Einleitung

➤ Definition:

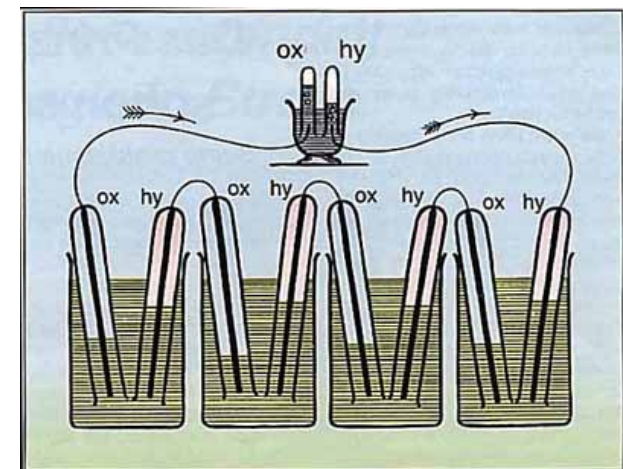
- Eine Brennstoffzelle ist eine elektrochemische Zelle, die die Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in nutzbare elektrische Energie umwandelt.
- Verwendung von z.B. Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen als Brennstoffe und Sauerstoff als Oxidationsmittel
- direkte Umwandlung von chemischer in elektrische Energie

Geschichte der BZ

- 1839 beschreibt der engl. Physiker Sir William Grove das Prinzip der BZ als Umkehrung der Elektrolyse von Wasser; Realisierung und Nutzung scheiterte an Materialproblemen
- 1897 verwendet Walter Hermann Nernst yttriumdotiertes Zirkonoxid („Nernst-Masse“) als Glühkörper (Nernst-Stift) in der Nernst-Lampe, mit der die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft einen Pavillon auf der Weltausstellung 1900 beleuchtete



William Grove (1811-1896)



Geschichte der BZ

- Nach 1920: Entwicklung von Gasdiffusionselektroden mit Platin als Katalysatormaterial, die einen Niederdruck - Temperaturbetrieb ermöglichten.
- 1935 wurde die „Nernst-Masse“ von Walter Schottky als Festelektrolyt für BZ vorgeschlagen
- Die Nernst-Masse wird noch heute in Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC) eingesetzt.



Walter H. Nernst



Walter Schottky

Geschichte der BZ

- 50er Jahre: Arbeiten von F. T. Bacon liefern die Grundlage für den Einsatz in der Raumfahrt
- Ende der 60er Jahre bauten Siemens und Varta alkalische BZ mit einem Leistungsbereich von 25 W und 100 W
- Rückgang der Forschung auf dem Gebiet der BZ mit technischer Umsetzung der Kernenergie
- Wiederbelebung mit der Ölkrise von 1973



Apollo 11 auf der Mondoberfläche.
Brennstoffzellen sichern die
Stromversorgung

Geschichte der BZ

- 1997: Daimler-Benz kündigt an, bis 2004 Autos mit Brennstoffzellenantrieb auf den Markt zu bringen
- 3. 6. 2005: IKEA liefert in Berlin Möbel mit Brennstoffzellenautos aus
- WM 2006: Einsatz von Shuttlebussen, die mit Brennstoffzellen angetrieben werden



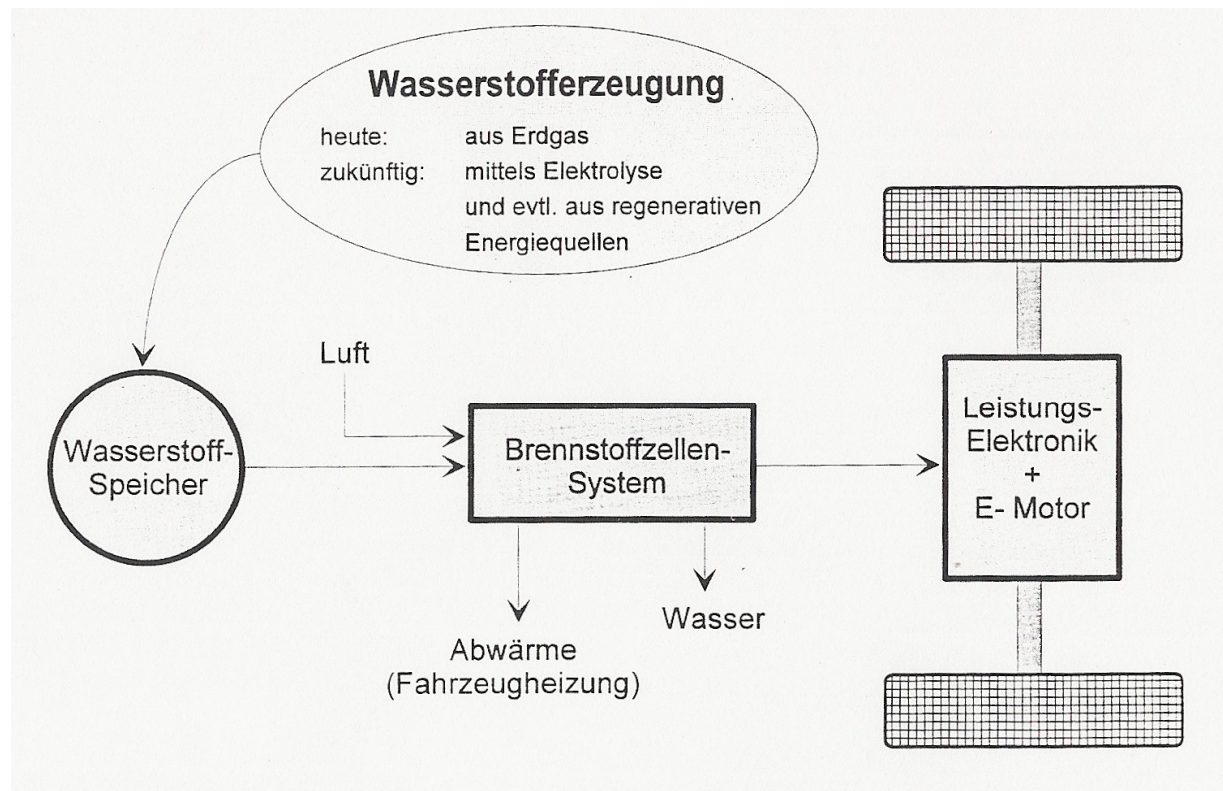
Necar 1 (New Electric Car)
1994



Mercedes-Benz B-Klasse „F-Cell“
2005

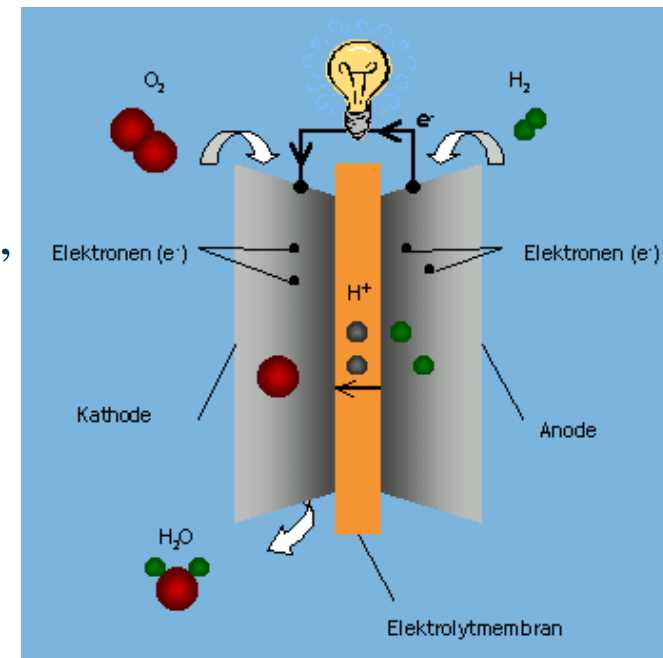
Geschichte der BZ

➤ Funktionsweise eines Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuges



Aufbau und Funktionsweise

- Zwei Elektroden, die durch eine wasserstoffundurchlässige Membran oder durch einen Elektrolyten voneinander getrennt sind
- Die Anode wird mit dem Brennstoff umspült, die Kathode mit dem Oxidationsmittel (kontinuierliche Zufuhr)
- Aufgrund der elektrisch isolierenden Eigenschaften der Membran werden die Elektronen gezwungen über einen äußeren elektrischen Kreis zu gehen



Aufbau und Funktionsweise

➤ Reaktionen

Anode:



Kathode:

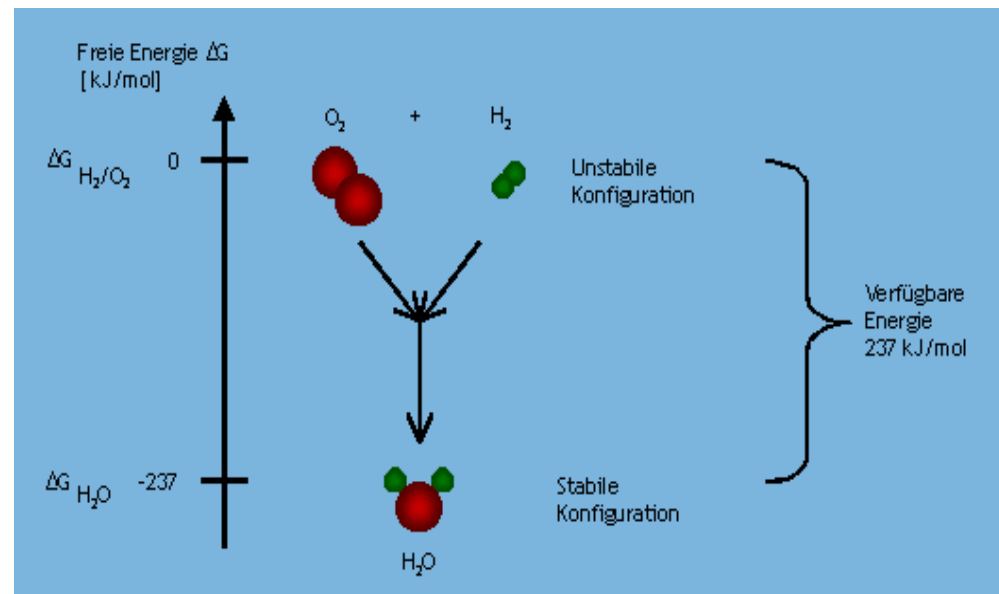


Gesamt:



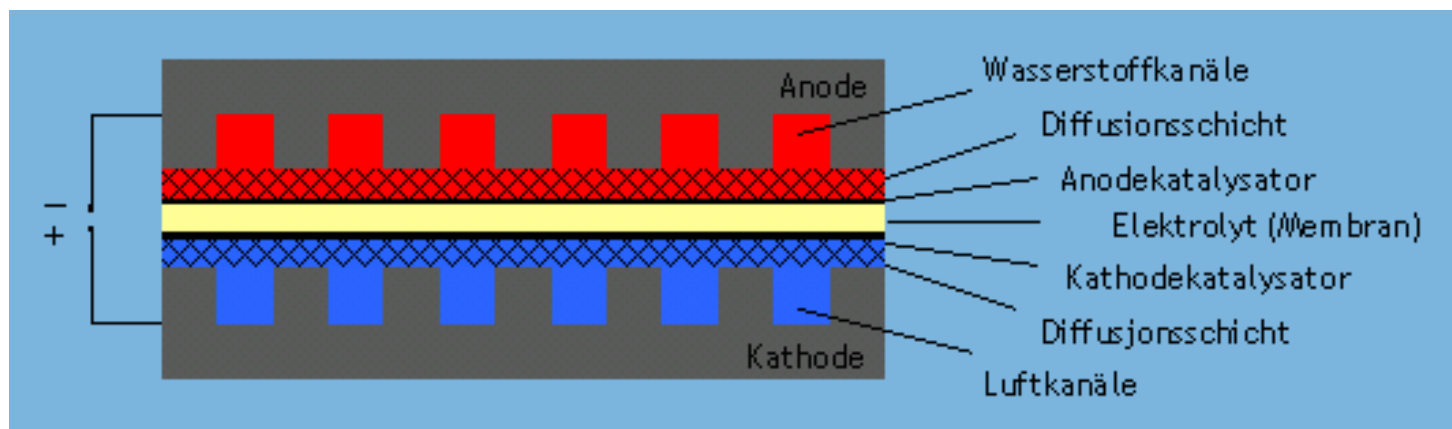
exotherme Reaktion:

$$\Delta_{\text{R}}H = -237 \text{ kJ/mol}$$



Aufbau und Funktionsweise

- Flowfield-Platten (Verteilerstrukturen) sind nötig, um die Reaktanden gleichmäßig in der gesamten Zelle zu verteilen.
- Gasdiffusionsschichten sind notwendig um die Reaktanden zur und die Reaktionsprodukte von der Elektrodenoberfläche zu transportieren.
→ wichtig ist der Abtransport des Reaktionswassers von der Kathode





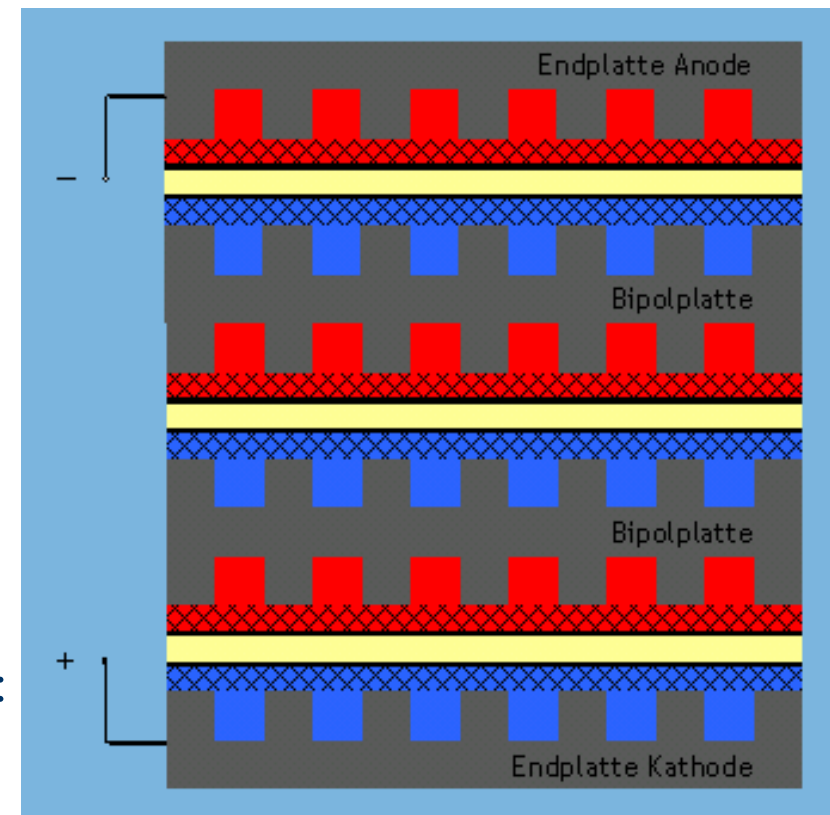
Aufbau und Funktionsweise

- Elektrodenplatten meist aus Metall (z.B. Raney-Nickel), Nano-Carbon-Röhrchen
- Beschichtung der Elektrodenplatten mit Platin oder Palladium zur besseren Katalyse
- Als Elektrolyte: Säuren, Laugen, Alkalicarbonatschmelzen, aber auch Keramiken und Membranen

Aufbau und Funktionsweise

➤ Brennstoffzellenstacks

- Einzelne Zellen werden zu „Stacks“ zusammengefasst → Erhöhung der Spannung
- Verteilerstrukturen haben dann auf beiden Seiten Strukturen → Bipolplatten
- Zu einem funktionierenden Brennstoffzellensystem gehören noch: Brennstofftank, Pumpen, Lüfter und eine Überwachungseinheit



Aufbau und Funktionsweise

➤ Überspannungen

→ effektiv erhaltene Spannung ca. 0,9 V

theoretische Spannung $E^\theta = 1.229 \text{ V}$ bei 25°C,

stromloser Messung und reversibler Reaktionsführung.

Die tatsächlich gemessene Spannung U ist aber geringer.

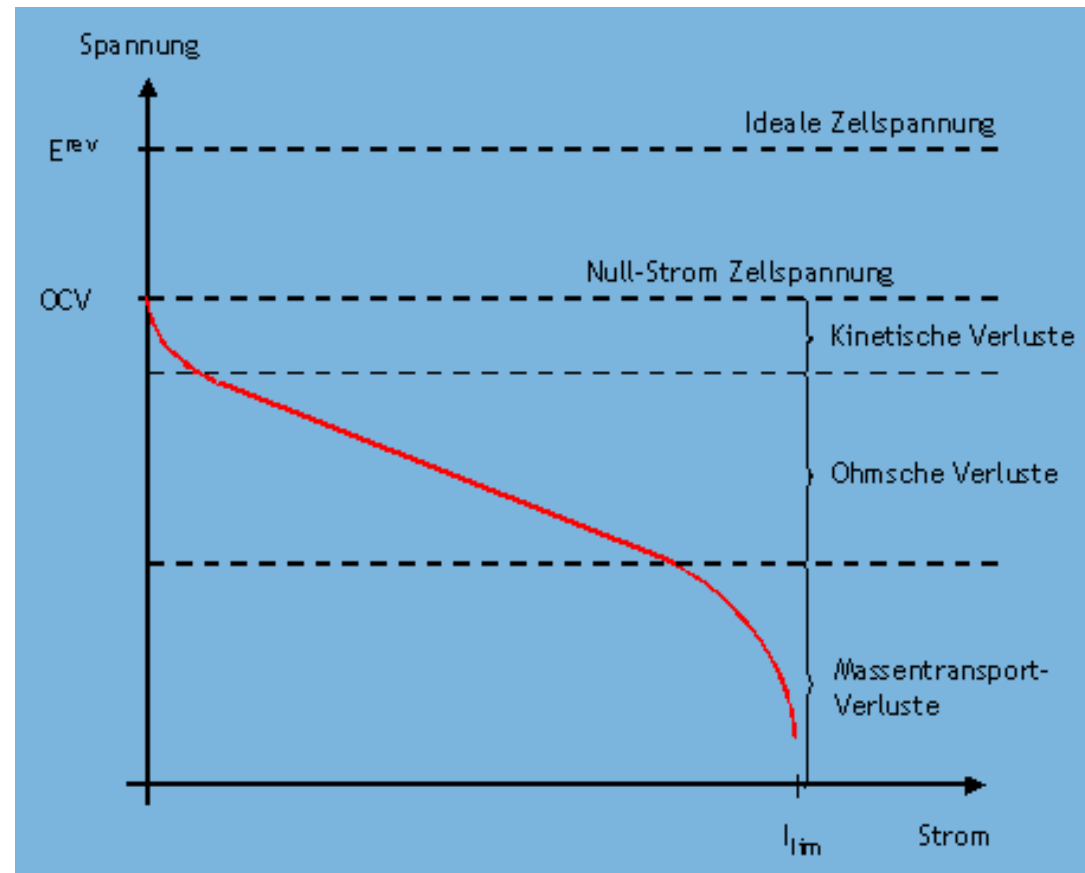
$$E = U + \sum_i \eta_i$$

Mit den Überspannungen η_i

→ Zellreaktionen laufen nicht vollständig reversibel ab

Aufbau und Funktionsweise

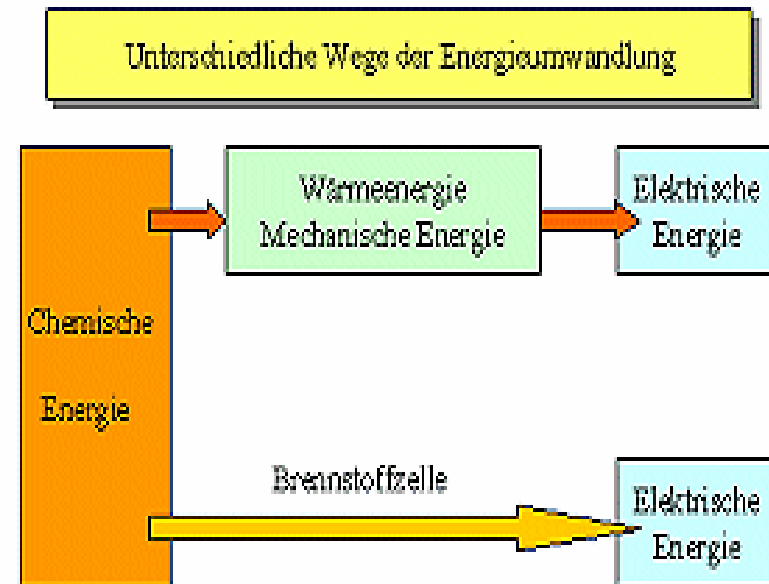
➤ Strom-Spannungskurve



Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen

➤ Wirkungsgrade

- Brennstoffzellen:
chem. Energie \Rightarrow elektr. Energie
- Generatormaschinen:
chem. Energie \Rightarrow mechan. Energie +
Wärme \Rightarrow elektr. Energie
 \rightarrow Wirkungsgrad durch den Carnot-Prozess begrenzt



Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen

➤ Wirkungsgrade

- Wirkungsgrad für Wärmekraftmaschinen

$$\eta_{\max}^c = \frac{\text{abgegebene Arbeit}}{\text{zugeführte Wärmeenergie}} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$$

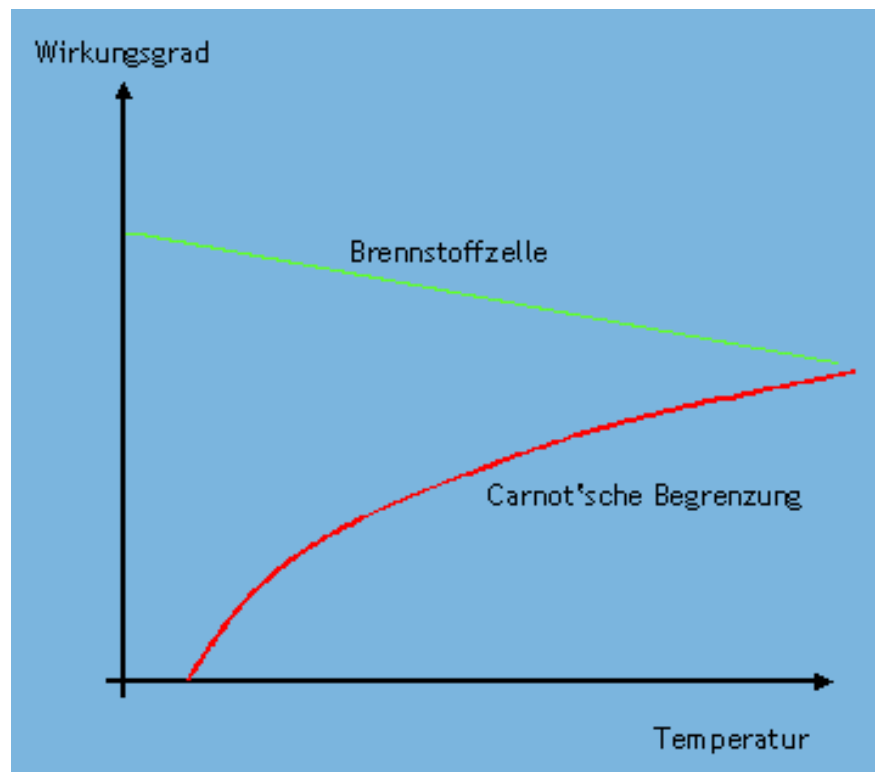
- Thermodynamischer Wirkungsgrad von Brennstoffzellen

$$\eta_{th}^{BZ} = \frac{\Delta G}{\Delta H}$$

$$\eta_{th,\max}^{BZ} = \frac{\Delta G}{\Delta H} = \frac{\Delta H - T\Delta S}{\Delta H} = 1 - \frac{T\Delta S}{\Delta H} \quad \eta_{th,\max}^{BZ} \geq 1 \quad \text{theoretisch möglich}$$

Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen

➤ Wirkungsgrade



$$\eta_{th,max}^{BZ} = 1 - \frac{T\Delta S}{\Delta H}$$

$$\eta_{max}^c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

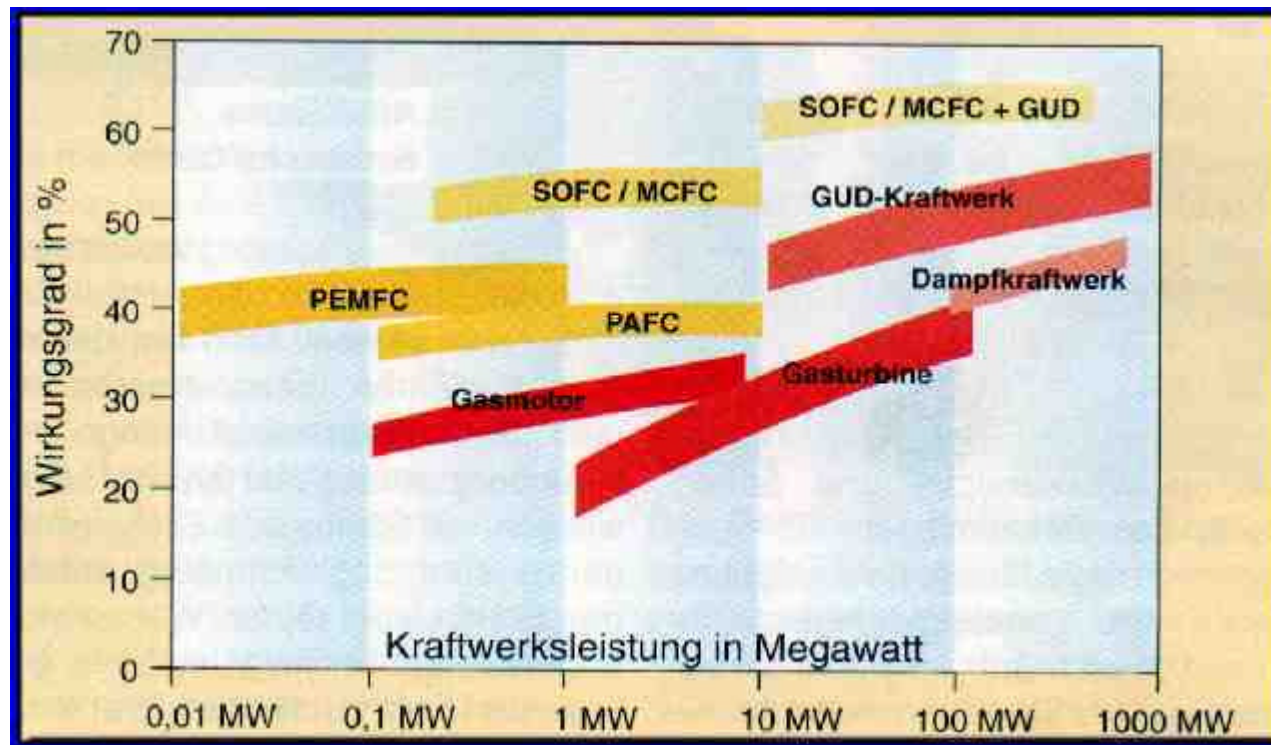
Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen

➤ Wirkungsgrade im Vergleich

- in kleinen Leistungsbereichen (< 100 MW) sehr hohe Wirkungsgrade
→ viele potentielle Anwendungsgebiete
- in höheren Leistungsbereichen (ab ca. 100 MW) Konkurrenz zu Gas- und Dampfturbinen-Anlagen (GuD-Anlagen) (Wirkungsgrade von bis zu 58% und günstige Investitionskosten)
→ BZ in diesem Bereich nicht konkurrenzfähig
- Kombination aus Hochtemperatur-BZ und GuD ermöglicht hohe Wirkungsgrade von über 60% durch Nutzung der Abwärme der Brennstoffzelle

Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen

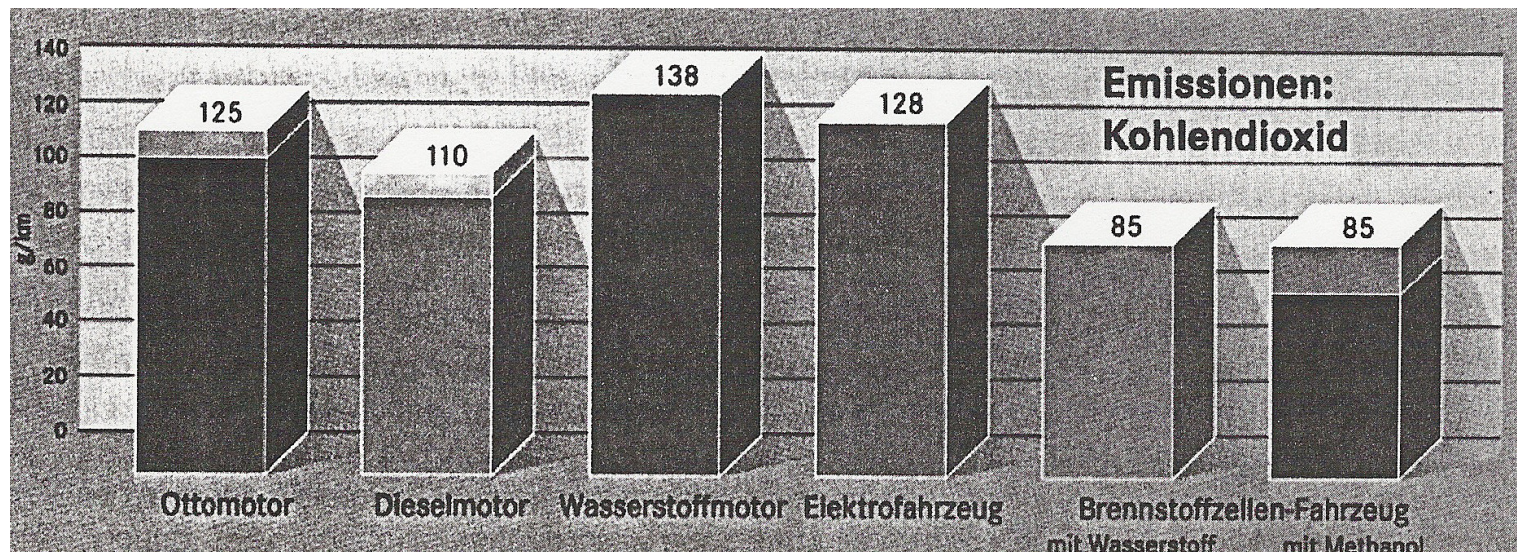
➤ Wirkungsgrade im Vergleich



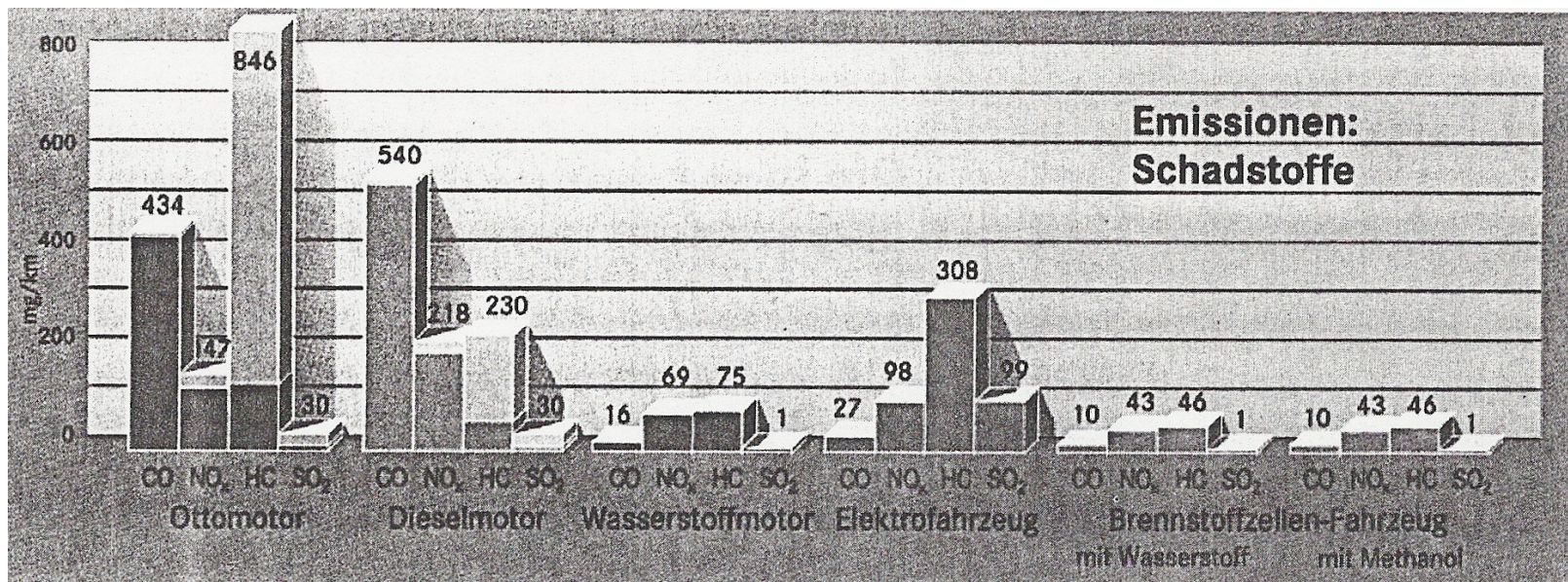
Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen

➤ Emissionen

- Brennstoffzellen nahezu emissionsfrei
- Unterscheidung zwischen Emissionen am Ort und vorgelagerten Emissionen (aus der Brennstoffherzeugung)



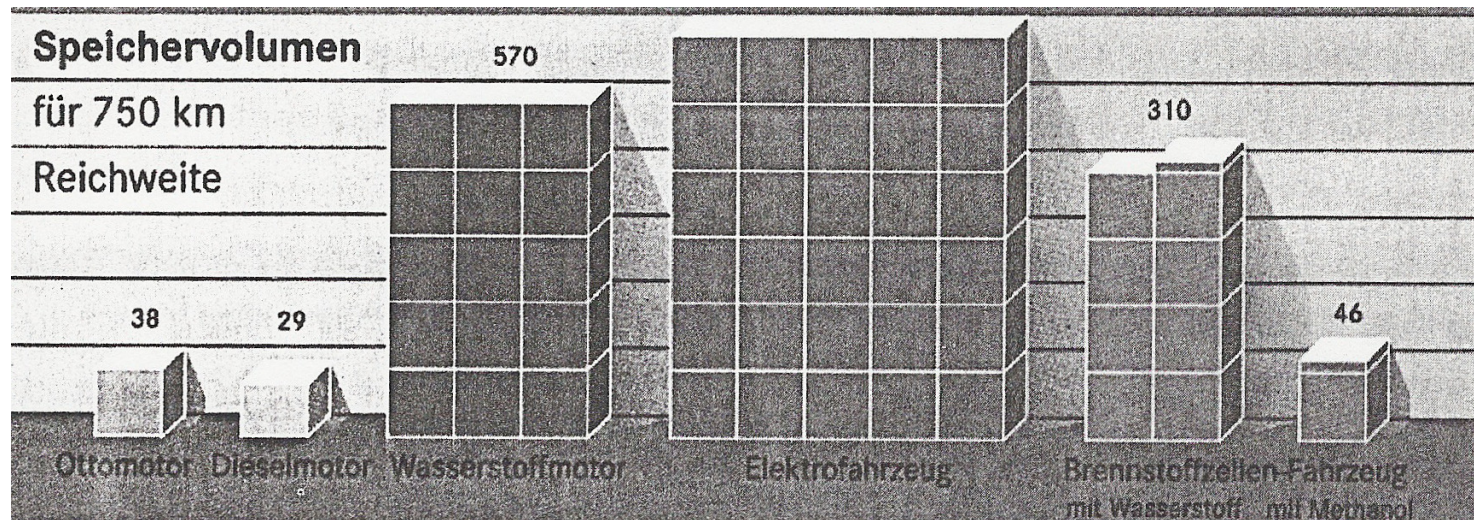
Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen



- Teils erheblich geringere Emission von Stickoxiden wegen „kalter Verbrennung“
- Einstufung von Brennstoffzellenfahrzeugen als ZEV („Zero Emission Vehicle“)

Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen

➤ Speichervolumen



Brennstoffzelle vs. Wärmekraftmaschinen

➤ Kosten

Brennstoffzellen:
ab 2000 €/kW



Methanolbetriebene Brennstoffzelle

Wärmekraftmaschinen:
~ 800€/kW bis 1200 €/kW



Gasturbinenanlage

Zusammenfassung

➤ Vorteile

- hoher Wirkungsgrad
- geringe Schadstoff- und Lärmemissionen
- gutes Anfahrverhalten/schnelle Reaktion auf Lastwechsel
- wartungsarm
- austauschbare Komponenten durch modulare Bauweise
- Nutzung der Abwärme möglich (Kraft-Wärme-Kopplung)
- zentrale und dezentrale Anwendung möglich

➤ Nachteile

- hoher Investitionsaufwand
- geringe Lebensdauer der Elektrolytmembran
- Membran häufig anfällig für Katalysatorgifte
→ Darstellung sehr reiner Brenngase nötig
- wenig Betriebserfahrung
- mit der Lebensdauer abnehmender Wirkungsgrad

Literatur

- K. Ledjeff „Brennstoffzellen - ein Überblick“ aus „Brennstoffzellen“, C. F. Müller, 1. Auflage, 1995
- W. Tillmetz, G. Hornburg, G. Dietrich „Polymermembran-Brennstoffzellen-Systeme“ aus „Brennstoffzellen“, C. F. Müller, 1. Auflage, 1995
- <http://www.wikipedia.de>
- http://www.fcway.com/index_de.HTM
- <http://www.initiative-brennstoffzelle.de/de/live/start/8.html>
- <http://www.fz-juelich.de/iwv/iwv3/Brennstoffzellen/>
- <http://www.daimlerchrysler.com/dccom/0,,0-5-466459-49-469021-1-0-0-466468-0-0-135-7145-0-0-0-0-0-0,00.html>
- http://exdb.rekiz.de/main.php?module=Data&action=view_entry&id=2114&XDB=4527d3f9e8fae4c97dd6cae95d613104
- http://exdb.rekiz.de/main.php?module=Data&action=view_entry&id=2101&XDB=4527d3f9e8fae4c97dd6cae95d613104

A large, glowing orange sphere, resembling a planet or a star, centered against a dark background. The sphere has a textured, granular surface with various shades of orange and yellow, suggesting intense heat and activity. The text "Fortsetzung folgt ..." is overlaid on the sphere in a bold, black, serif font.

Fortsetzung folgt ...